

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.384.3

В.Г. Колобродов, Д.О. Півторак

КОМБІНОВАНИЙ СПОСІБ РЕЄСТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ ОБ'ЄКТА З ШИРОКИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ ЯСКРАВОСТЕЙ

Вступ

Практично всі сучасні цифрові і аналогові фотографічні і телевізійні системи оснащені експонетричними пристроями, які дають змогу досягти максимально можливої якості в сюжетно важливій частині зображення. Розробці і створенню експонетричних пристроїв приділяється підвищена увага, оскільки похибки у виборі експозиції в більшості випадків зйомки є непоправними. Подальша, навіть найретельніша цифрова обробка сигналу, що знімається з приймача оптичного випромінювання, не може відновити основний обсяг інформації, втраченої на первинному етапі реєстрації зображення [1].

У більшості випадків технічної зйомки (наприклад, рентгенівської або аерознімальної), результуюче зображення формується за рахунок сукупності малококонтрастних об'єктів спостереження, які перебувають у великому діапазоні яскравостей. Основною причиною інформаційних втрат при зйомці даних об'єктів є невідповідність динамічного діапазону вхідного сигналу динамічному діапазону реєстратора зображення. Це зумовлюється дією ряду факторів [1]:

- перепадом освітленості через тіні від хмар, диму від заводських труб, природних і штучних споруд та інших предметів;
- наявністю в полі зору знімальної камери "бликуючих" дзеркально відбиваючих, в тому числі й водних поверхонь;
- широким діапазоном зміни коефіцієнта яскравості природних об'єктів зйомки (від 0,02 для ґрунту до 1,0 для снігу, який тільки що випав);
- малим динамічним діапазоном приймачів оптичного випромінювання, які використовуються в знімальних камерах для реєстрації зображення.

Для мінімізації втрат інформації при реєстрації цифрових зображень застосовується технологія HDRI (High Dynamic Range Image), що передбачає формування файлів великого розміру з кількох LDR (Low Dynamic Range)

файлів, отриманих у результаті зйомки того ж сюжету при різних рівнях середньої експозиції (брекетингу експозиції) [2]. Разом з тим, у телевізійних системах або спеціальній апаратурі, призначеної, наприклад, для реєстрації процесів, які швидко відбуваються, застосування брекетингу експозиції ускладнене або неможливе. В цих випадках для узгодження динамічних діапазонів вхідного сигналу з динамічним діапазоном фотореєстратора можуть використовуватись методи височастотної просторової фільтрації зображення, які дозволяють подавити низькі просторові частоти в зображенні, що не містять у собі корисної інформації. У фотографії велике поширення дістав метод нерізкого маскування [3], який також називається мультиплікативним методом, а в рентгенівській, тепловізійній і телевізійній техніці — метод віднімання [4], або адитивний метод просторової фільтрації.

При мультиплікативному методі величина експозиції в кожній точці результуючого зображення вибирається з відношення значення експозиції в даній точці вихідного зображення до значення експозиції вихідного нерізкого зображення. При адитивному методі обчислюється різниця значень експозицій початкового і нерізкого зображення. В першому випадку змінюється контраст кожної елементарної ділянки зображення, розміри якого визначаються ступенем нерізкості зображення. В другому випадку змінюється яскравість кожної елементарної ділянки зображення. Методи знайшли своє широке застосування в каскадах вторинної обробки сигналу. Дані алгоритми закладені у фільтрах більшості графічних редакторів, наприклад Photoshop. У той же час, практичний інтерес викликає застосування методів височастотної фільтрації безпосередньо в оптичному каналі до реєстратора.

Теоретично мультиплікативний і адитивний методи можуть бути використані в реальних знімальних системах. Для реалізації мультиплікативного методу безпосередньо перед реєстратором зображення встановлюється прозора пластина, на яку за допомогою додаткового оптико-електронного каналу вдруковується фільтр-маска. Через неї надалі проводиться основне експонування. За рахунок маски знижується середня освітленість кадру, що вимагає збільшення експозиції.

Для реалізації адитивного методу потрібне додаткове експонування вихідного зображення нерізким негативним зображенням. Однак у

цьому випадку, крім подавлення низьких частот, знижується контраст у зображеннях дрібних об'єктів, які перебувають у тіні.

Постановка задачі

Мета дослідження – усунення конкретних недоліків при запропонованому комплексному взаємозалежному застосуванні як адитивного, так і мультиплікативного методів просторової фільтрації безпосередньо в оптичному каналі.

Реалізація комбінованого методу просторової фільтрації зображення

На плоскому прозорому елементі 2, розміщеному перед світлочутливим матеріалом 1, будується нерізка маска, яка є негативним зображенням об'єкта, що фотографується (рис. 1).

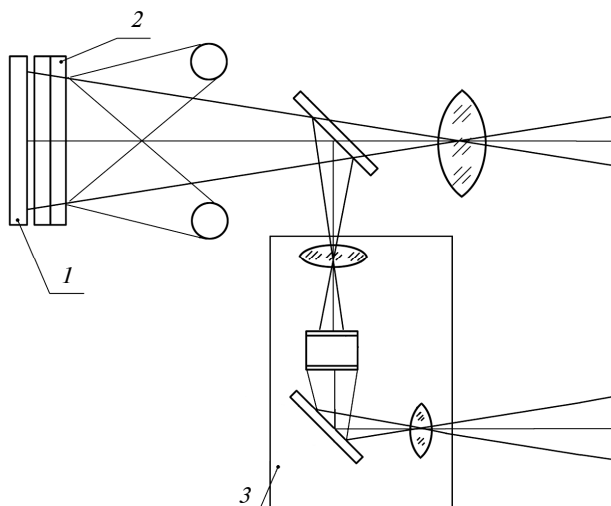


Рис. 1. Функціональна схема реєстратора зображення

Для виготовлення плоского прозорого елемента 2 можна використати фотохромний матеріал, що має властивість змінювати свій коефіцієнт пропускання під дією світла [5]. При цьому фотохромний матеріал може мати чутливість в одній області спектра оптичного випромінювання (наприклад, в ультрафіолетовій), у той час як зміна його коефіцієнта пропускання буде відбуватися в іншій області спектра оптичного випромінювання (наприклад, у видимій). При цьому фотохромний матеріал має світлову характеристику, аналогічну характеристичній кривій фотоматеріалу. В цьому випадку для прямолінійної ділянки характеристичної кривої правомірно записати

$$D_t = \gamma [\lg(H_t) - \lg(H_i)] = \gamma \lg\left(\frac{H_t}{H_i}\right), \quad (1)$$

де D_t – значення оптичної густини фотохромного матеріалу, що відповідає експозиції H_t ; H_i – експозиція, що відповідає точці інерції характеристичної кривої фотохромного матеріалу; γ – коефіцієнт контрастності фотохромного матеріалу.

Із врахуванням зв'язку між оптичною густиною D_t і коефіцієнтом пропускання τ_t

$$D_t = -\lg(\tau_t),$$

вираз (1) можна записати у вигляді

$$\tau_t = \left(\frac{H_i}{H_t}\right)^\gamma.$$

Ступінь стискання динамічного діапазону вхідного сигналу може бути оцінено за коефіцієнтом маскування, вираз для якого можна записати у вигляді

$$K_m = \frac{\lg(K_{L_o})}{\lg(K_{H_o})}, \quad (2)$$

де K_{L_o} – інтервал яскравостей низькочастотних деталей об'єкта; K_{H_o} – інтервал експозицій низькочастотних деталей у результуючому зображенні об'єкта. При цьому коефіцієнти K_{L_o} і K_{H_o} визначаються як

$$K_{L_o} = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}, \quad (3)$$

де L_{\min} , L_{\max} – мінімальна і максимальна яскравість низькочастотних деталей об'єкта спостереження;

$$K_{H_o} = \frac{H''_{\max}}{H''_{\min}}, \quad (4)$$

де H''_{\min} , H''_{\max} – експозиції в результуючому зображенні, що відповідають низькочастотним деталям об'єкта зйомки з мінімальною та максимальною яскравістю.

Запропонований комбінований спосіб просторової фільтрації зображення ілюструється залежностями, наведеними на рис. 2.

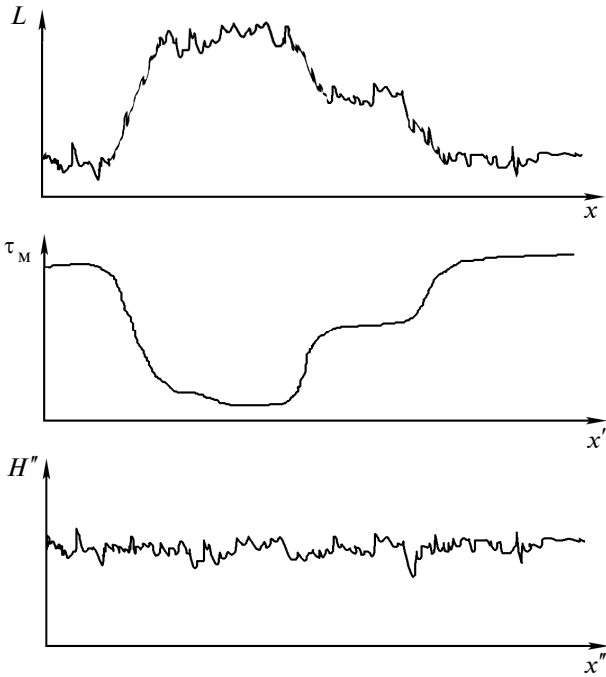


Рис. 2. Ілюстрація комбінованого способу просторової фільтрації зображення

Очевидно, що коефіцієнт пропускання в побудованій нерізкій масці буде максимальним у місцях розміщення зображень деталей об'єкта з мінімальною яскравістю і мінімальним у місцях знаходження зображень деталей об'єкта з максимальною яскравістю, тобто

$$\tau_{\max} = \left(\frac{H_i}{H_{\min}} \right)^\gamma = \frac{(H_i)^\gamma}{(L_{\min} K_1)^\gamma},$$

де H_{\min} — мінімальна експозиція, отримана матеріалом маски; K_1 — коефіцієнт, який зв'язує яскравість об'єкта зйомки з експозицією матеріалу маски:

$$\tau_{\min} = \left(\frac{H_i}{H_{\max}} \right)^\gamma = \frac{(H_i)^\gamma}{(L_{\max} K_1)^\gamma},$$

де H_{\max} — максимальна експозиція, отримана матеріалом маски.

Після побудови маски в довільному порядку на світлочутливий шар експонується різке зображення того ж об'єкта (див. рис. 1) і зображення об'єкта рівномірної яскравості. В цьому випадку світлочутливий шар отримує експозицію

$$H''_{\max} = \frac{(H_i)^\gamma}{(L_{\max} K_1)^\gamma} L_{\max} K_2 + \frac{(H_i)^\gamma}{(L_{\max} K_1)^\gamma} L_o K_2 =$$

$$= \left(\frac{H_i}{K_1} \right)^\gamma K_2 \frac{L_{\max} + L_o}{(L_{\max})^\gamma},$$

де K_2 — коефіцієнт, що зв'язує яскравість об'єкта зйомки з експозицією світлочутливого матеріалу; L_o — яскравість умовного об'єкта (площадка рівномірної яскравості в межах кадру).

Аналогічно маємо

$$H''_{\min} = \left(\frac{H_i}{K_1} \right)^\gamma K_2 \frac{L_{\min} + L_o}{(L_{\min})^\gamma}.$$

Тут вираз для інтервалу яскравостей низько-частотних деталей у результуючому зображенні об'єкта (4) запишеться у вигляді

$$K_{H_o} = \frac{H''_{\max}}{H''_{\min}} = \frac{(L_{\max} + L_o)}{(L_{\min} + L_o)} \left(\frac{L_{\min}}{L_{\max}} \right)^\gamma = \frac{L_{\max} + L_o}{L_{\min} + L_o} K_{L_o}^{-\gamma}. \quad (5)$$

Для спрощення виразу (5) яскравість умовного об'єкта L_o можна записати у вигляді функції середньої яскравості $L_{\text{сеп}}$ об'єкта:

$$L_o = K_c L_{\text{сеп}} = K_c \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}, \quad (6)$$

де K_c — коефіцієнт пропорційності.

Із врахуванням (6) вираз (5) можна подати у вигляді

$$K_{H_o} = \frac{2K_{L_o} + K_c K_{L_o} + K_c}{2 + K_c K_{L_o} + K_c} K_{L_o}^{-\gamma}. \quad (7)$$

Після підстановки виразів (3) і (7) у формулу (2) і ділення знаменника і чисельника дробу на $\lg(K_{L_o})$ можна отримати вираз, який описує зміну коефіцієнта маскування в разі використання запропонованого процесу реєстрації зображення:

$$K_m = \frac{1}{\frac{\lg(2K_{L_o} + K_c(K_{L_o} + 1)) - \lg(2 + K_c(K_{L_o} + 1))}{\lg(K_{L_o})} - \gamma}. \quad (8)$$

У реальних умовах існують ускладнення в оперативній зміні коефіцієнта контрастності

матеріалу для побудови маски. Більш зручно й доцільно змінювати контраст зображення в оптико-електронному каналі 3, призначеному для вдруковування маски. В цьому випадку вираз (8) може бути записаний як

$$K_m = \frac{1}{\lg(2K_{L_o} + K_c(K_{L_o} + 1)) - \frac{-\lg(2 + K_c(K_{L_o} + 1))}{\lg(K_{L_o})} - \gamma\gamma_{\text{ОЕК}}}, \quad (9)$$

де $\gamma_{\text{ОЕК}}$ — коефіцієнт контрастності оптико-електронного каналу.

Залежність (9) ілюструється графіком, наведеним на рис. 3.

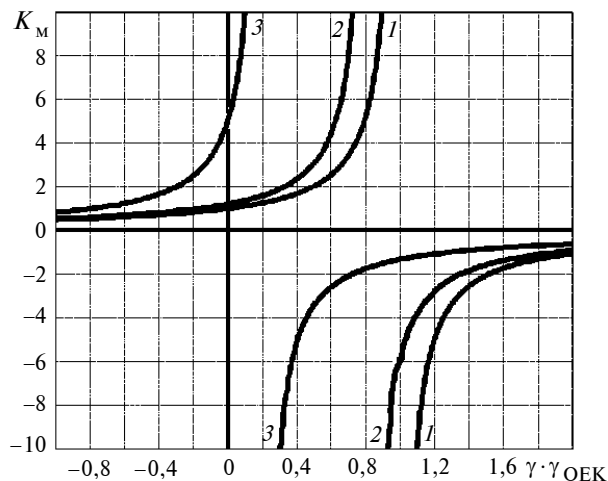


Рис. 3. Залежність коефіцієнта маскування від контрасту зображення маски і рівня рівномірної засвітки: 1 — $K_c = 0$; 2 — $K_c = 0,5$; 3 — $K_c = 2,5$

З аналізу виразу (9) зробимо висновок, що при використанні запропонованого способу фотозйомки можна досягти необхідного коефіцієнта маскування, а отже, й необхідного ступеня зменшення динамічного діапазону вхідного оптичного сигналу шляхом вибору контрасту зображення маски та інтенсивності рівномірної засвітки. При цьому потрібен апріорний аналіз сцени зйомки з метою визначення інтервалу яскравостей.

Середня експозиція $H''_{\text{сер}}$ при використанні запропонованого способу може бути визначена в такий спосіб:

$$H''_{\text{сер}} = (L_{\text{сер}} + L_o)K_2\tau_{\text{сер}} =$$

$$= (L_{\text{сер}} + L_{\text{сер}}K_c)K_2\tau_{\text{сер}} = (1 + K_c)L_{\text{сер}}K_2\tau_{\text{сер}},$$

де $\tau_{\text{сер}}$ — середній коефіцієнт пропускання маски.

Ступінь зменшення (збільшення) середньої експозиції при використанні запропонованого способу можна визначити з виразу

$$\frac{H_{\text{сер}}}{H''_{\text{сер}}} = \frac{L_{\text{сер}}K_2}{(1 + K_c)L_{\text{сер}}K_2\tau_{\text{сер}}} = \frac{1}{(1 + K_c)\tau_{\text{сер}}}, \quad (10)$$

де $H_{\text{сер}}$ — середня експозиція на поверхні світлочутливого матеріалу при прямому експонуванні без застосування запропонованого способу.

З виразу (10) видно, що енергетичних втрат не буде при виконанні умови

$$(1 + K_c)\tau_{\text{сер}} = 1,$$

звідки

$$K_c = \frac{1}{\tau_{\text{сер}}} - 1.$$

Висновки

Запропонований комбінований спосіб фотозйомки дає можливість здійснити просторову фільтрацію зображення безпосередньо в оптичному каналі, що дозволяє уникнути втрат інформації, зумовлених невідповідністю динамічного діапазону вхідного сигналу динамічному діапазону реєстратора зображення. Використання загальної фільтр-маски значно спрощує практичну реалізацію способу. Одночасне взаємозалежне використання нерізкого маскування і подвійного експонування сприяє оптимізації параметрів процесу із зниженням втрат від зсуву зображення, ймовірних при використанні нерізкого маскування через необхідність використання більших експозицій. Крім того, оптимізація параметрів процесу дозволяє значно знизити рівень зовнішньої засвітки зображень малоконтрастних об'єктів.

Подальшою перспективою є дослідження комбінованого способу експонування на градаційні характеристики формування зображення та ефективність зйомки.

В.Г. Колобродов, Д.А. Пивторак

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА С ШИРОКИМ ДИНА-
МИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ ЯРКОСТЕЙ

Предложен комбинированный способ регистра-
ции изображения, позволяющий согласовать ди-
намический диапазон яркости объектов наблю-
дения с динамическим диапазоном фоторегист-
ратора.

V.G. Kolobrodov, D.O. Pivtorak

THE MULTIFUNCTION METHOD OF THE OB-
JECT IMAGE REGISTRATION WITH BROAD DY-
NAMIC RANGE OF BRIGHTNESS

We propose the multifunction method of the object
image registration. It allows matching the dynamic
range of brightness of the observed objects with the
dynamic range of photoregister.

1. *Подольн А.П., Пудрий С.В.* Экспонометрические системы аэрофотоаппаратов. — К.: КИ ВВС, 1994. — 164 с.
2. *Патрик Хук.* Цифровая фотография. — М.: Аст. Астрель, 2007. — 192 с.
3. *Фризер Х.* Фотографическая регистрация информации. — М.: Мир, 1978. — 672 с.
4. *Ллойд Дж.М.* Системы тепловидения / Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 414 с.
5. *Перспективы и возможности несеребряной фотографии* / И.А. Акимов, В.А. Барачевский, Ю.П. Гушо; Под ред. А.Л. Картужанского. — Л.: Химия, 1988. — 240 с.
6. *Травин В.Г., Кадыков А.В.* Особенности градационно-го маскирования при фотопечати // Журн. научн. и приклад. фотографирования и кинематографии. — 1987. — № 1. — С. 7–10.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
14 квітня 2009 року